

И.П. ХАВИНА (г. Харьков)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Розроблено структурну схему технологічного процесу і поставлена задача параметричної оптимізації при обробці різанням оптичних полімерів. Обґрунтована концепція застосування методів штучного інтелекту для прогнозування оптимальних процесів з урахуванням особливостей лезвийної обробки оптичних полімерних виробів.

The block diagram of technological process and task in view of parametrical optimisation is developed at processing by cutting of optical polymers. The concept of application of methods of an artificial intellect for forecasting optimum processes in view of features cutting of optical polymeric products is proved.

Постановка проблемы. Оптические полимеры находят широкое применение при создании детекторов для нового поколения ускорителей элементарных частиц, оптико-волоконной связи, диагностической медицинской аппаратуры, солнечных конверторов, радиационных дозиметров и т.д. Поэтому актуальным становится вопрос о высоких эксплуатационных показателях и производительности процессов лезвийной обработки оптических полимеров [1].

В настоящий момент [2] существует ряд методов оптимизации параметров технологического процесса (ТП). Первый метод решения основан на создании аналитических моделей. Второй метод решения основан на экспериментальном изучении влияния различных факторов. Третий метод решения – на целенаправленных экспериментальных исследованиях и анализе результатов. Четвертый – моделирование с использованием методов и подходов искусственного интеллекта.

Задача оптимизации технологического процесса является комплексной, требующей проведения анализа и выбора технологических решений на различных уровнях проектирования и обеспечивающей минимальные значения приведенных затрат с одновременным соблюдением ряда технических ограничений [3].

Основой для оптимизации являются технические и экономические связи, которые отражают закономерности теории и практики обработки резанием. Для оптимизации процесса резания должны быть найдены общие функциональные наиболее характерные для специфической сущности способа обработки зависимости стойкости инструмента и силы резания от режимов обработки [4].

При комплексном подходе различают два вида оптимизации ТП [3], выполняемых на различных этапах технологического проектирования:

1 – структурная оптимизация – выбор оптимального технологического маршрута, операций, переходов, вида и методов изготовления заготовки, способов базирования, оборудования, приспособлений, инструмента, СОТС, т.д.; 2 – параметрическая оптимизация – выбор оптимальных технологических параметров: допусков на межоперационные размеры, припусков, режимов резания, режущего инструмента и др.

На рис. 1 обозначено: 1 – анализ и синтез допустимых вариантов принципиальных схем ТП; ОЦ1 – оценка и отбор лучших вариантов принципиальных схем ТП; 2 – анализ и синтез вариантов структур ТП; ОЦ2 – оценка и отбор лучших вариантов структур ТП; 3 – анализ и синтез параметров ТП; ОЦ3 – оценка и отбор лучших вариантов параметров ТП.

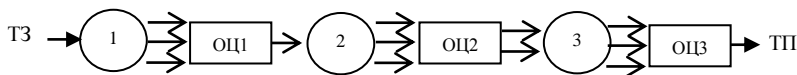


Рис. 1. Общая схема многоуровневого процесса проектирования

В общем виде задачу структурной оптимизации можно сформулировать как задачу выбора наилучшего вида заготовки или способа ее изготовления, маршрута обработки, структуры операции, структуры перехода, оборудования, системы станочных приспособлений, конструкции станочного приспособления, режущего инструмента, СОТС и др.

Выбор структуры ТП характеризуется низкой формализацией при достаточно высокой многовариантности решений, многомерностью, наличием эмпирической информации и скрытых объективных законов. В то же время значение правильного выбора структуры во многом превосходит эффект от параметрической оптимизации. Представив задачу в виде графа пространства состояний можно использовать теорию графов для анализа структуры и сложности, как самой задачи, так и процедуры поиска ее решения [5]. В работе [6] приведен выбор структуры технологического процесса, основанный на методах искусственного интеллекта и получена практическая реализация в виде ТП выбора способа получения заготовки и ТП обработки изделий из оптических полимеров.

После определения оптимальной структуры ТП следующей задачей является определение оптимальных технологических параметров каждой операции. Концепция применения методов искусственного интеллекта для решения этой задачи и рассматривается в данной работе.

Анализ литературы. Параметрическая оптимизация выражается главным образом в определении оптимальных режимов резания (скорости, подачи и глубины резания) с позиций некоторого критерия [3, 4, 7 – 11].

В настоящее время разработано большое число нейронных сетей (НС) для решения различного рода задач. Среди известных НС можно выделить: статистические, динамические, нетрадиционные сети и нейронные сети,

построенные на нечеткой логике, однослойные и многослойные сети [12]. Сравнительный анализ решаемых нейронными сетями задач [13] представлен в табл. 1. Виды НС для решения различных оптимизационных задач [13] даны в табл. 2. Автор не во всем поддерживает выводы, приведенные в табл. 1 и 2. Так, например, персептроны хорошо показали себя при использовании в оптимальном управлении динамических объектов.

Таблица 1

Нейронные сети		Область применения					
Тип сети	Название	Распознавание образов	Классификация, кластеризация данных	Аппроксимация функций	Прогнозирование	Оптимизация	Ассоциативная память
Статические	Персептроны	+	+	+	+	-	+
Динамические	Сеть Хопфилда	+	-	-	+	+	+
	Сеть Кохонена	+	+		+	+	+
	ДАП	+	+	-	+	-	+
	Сеть встречного распространения	+	+	-	-	-	-
	Сеть АРТ	+	+	-	-	-	-
Нетрадицион-ные сети	Имитация отжига	-	-	-	-	+	-
	Метод эластичной сети	-	-	-	-	+	-
	Растущие НС	-	-	-	-	+	-
Нечеткие структуры	Связные сети	+	+	-	-	-	-
	Сеть АРТ	+	+	-	-	-	-

Таблица 2

Наименование	Достоинства	Недостатки
Динамическая НС Хопфилда	Высокая скорость получения результата	Нахождение локального оптимального решения
Динамическая сеть		
Имитация отжига	Решение, близкое к оптимальному	Низкая скорость получения результата
Метод эластичной сети	Высокая скорость получения результата Адаптация к задаче	Значительные вычислительные затраты
Сеть Кохонена		
Сети Поттса		
Растущие НС		

В частности, за последнее десятилетие накоплен положительный опыт применения нейросетевых алгоритмов при прогнозировании технологических процессов лезвийной обработки. Попытка предсказывать шероховатость поверхности при точении и находить оптимум условий резания с помощью НС была предпринята Chien и Chou в [14].

Suresh и др. [15] применил две стадии к оптимизации шероховатости поверхности. В первой экспериментальные результаты использовались, чтобы построить две математические модели, описывающие шероховатость поверхности методом регрессионного анализа. Во второй была применена математическая модель целевой функции и оптимизирована с помощью ГА, чтобы получить условия механической обработки для заданного конечного состояния поверхности.

Ли и др. [16] предложил гибрид, который объединял аналитические модели и модели нейронной сети для того, чтобы предсказать параметры обработки.

Прогнозирование оптимальных параметров процесса лезвийной обработки для заданной шероховатости поверхности и эксплуатационных свойств изделий – область которая еще не получила достойного внимания [1]. ГА и другие алгоритмы оптимизации могли идеально использоваться в соединении с развитыми моделями НС для прогнозирования шероховатости поверхности, но, как видно из вышеупомянутого, подобных подходов очень немного [1]. Практически не решены задачи управления технологическим процессом лезвийной обработки оптических полимеров в реальном времени.

Для идентификации в реальном времени динамических объектов, применяются нейронные сети, основанные на аппроксимации нелинейностей, например, рядами Вольтера, Винера, полиномами Колмогорова-Габора, нелинейными разностными уравнениями и т.д. Однако в тех случаях, когда управление должно осуществляться на распознавании ситуаций, которые определяются некоторым множеством динамических процессов, несмотря на большое число работ в этой области, до сих пор удовлетворительных систем управления разработать не удалось. Это связано с тем, что большинство нейронных сетей, которые обучаются методом обратного распространения ошибки, генетическими алгоритмами, в двунаправленной ассоциативной памяти, сетях Хопфилда и т.д. обучение новому образу или ассоциации очень часто требуют полного переобучения сети.

Цель статьи. Постановка задачи параметрической оптимизации и обоснование концепции применения методов искусственного интеллекта для прогнозирования оптимальных процессов лезвийной обработки оптических полимерных изделий.

Рассмотрим подробнее постановку задачи. На рис 2. приведена разработанная автором структурная схема оптимального технологического процесса лезвийной обработки изделий из оптических полимеров.

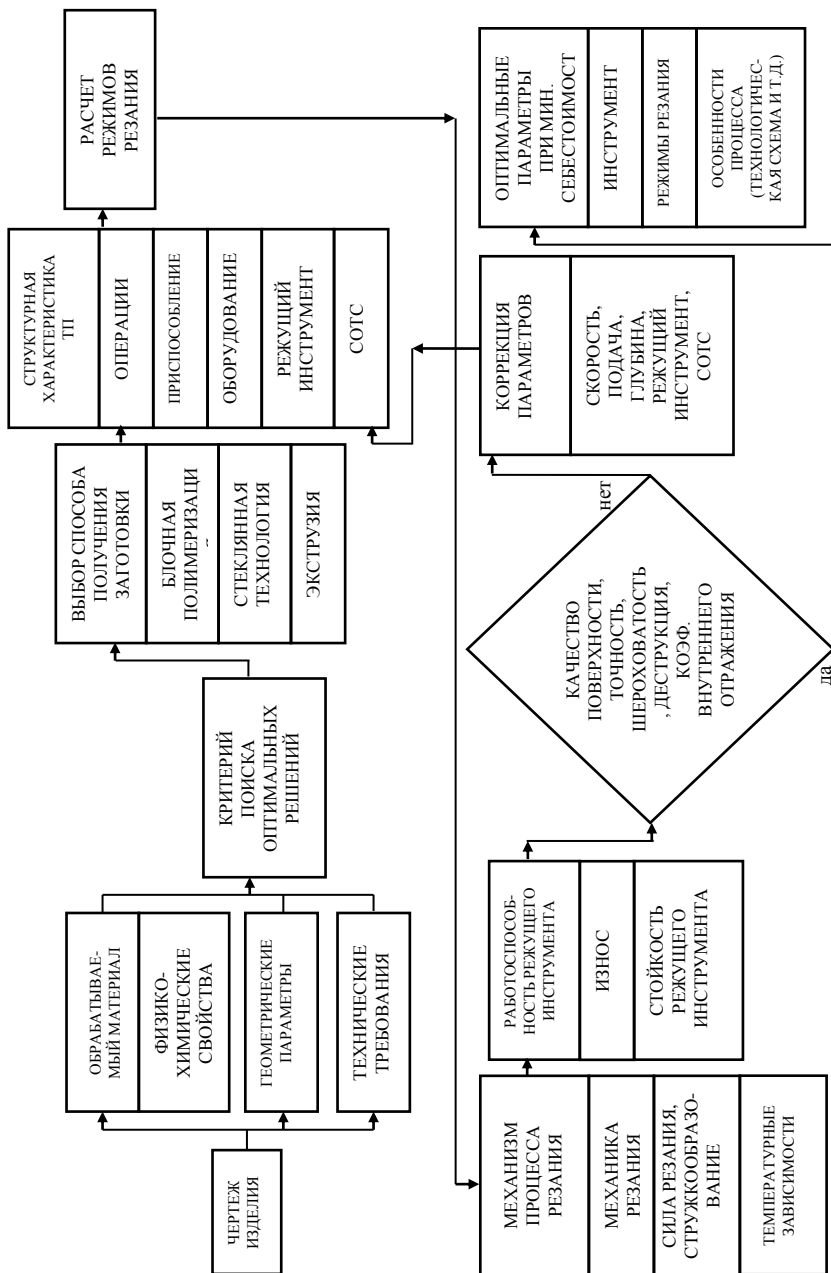


Рис. 2. Структурная схема оптимального технологического процесса лезвийной обработки изделий из оптических полимеров

Прогнозирование оптимальных параметров механической обработки во многом определяется физико-химическими явлениями в зоне контакта обрабатываемого материала и режущего инструмента.

Основными факторами, характеризующими процесс резания, являются: механика резания и стружкообразование, силовые и температурные закономерности. Физико-химические явления в зоне резания определяют работоспособность режущего инструмента (износ и стойкость), а также качество поверхностного слоя обрабатываемого материала (см. рис. 2).

Качество поверхностного слоя полимерных материалов определяется как стандартными параметрами (шероховатость и точность), так и специальными (деструкция поверхностного слоя).

Качество поверхностного слоя определяет выходные эксплуатационные свойства номенклатуры оптических материалов, в первую очередь, световые характеристики и длительность срока службы работы изделия.

Механику процесса резания считают исходным базовым разделом теории резания, так как упругопластические деформации обрабатываемого материала, которые она изучает, предопределяет протекание всех других явлений, сопровождающих процесс резания: тепловыделение, адгезию, химическое взаимодействие.

Температурная модель построена по механистическому признаку. От уровня температуры зависит степень термической деструкции оптических полимерных изделий. Температурная деструкция, которая активно развивается при температуре свыше 80 – 90 С, играет отрицательную роль в формировании поверхности и функциональных свойств оптических изделий.

Модели износостойкости режущего инструмента построены на получении эмпирических характеристик. Износ инструмента является важнейшим показателем работоспособности. При обработке полимеров инструментальным материалом различной твердости отсутствует период катастрофического изнашивания, так как ему всегда предшествует недопустимое ухудшение качества обработанной поверхности изделий.

В общем виде, в соответствии с рис. 2, математическая модель прогнозирования оптимального режима может быть представлена как

$$W = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \Rightarrow \min; \quad (1)$$

$$h_i = 0, i = 1, 2, \dots, q; \quad (2)$$

$$g_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, p. \quad (3)$$

Выражение (1), зависящее от варьируемых переменных x_1, x_2, \dots, x_n , является функцией цели, т.е. выражает критерий оптимизации. Выражение (2) — множество ограничений, представленных в виде уравнений состояния. Выражение (3) является множеством ограничений, представленных в виде неравенств.

С математической точки зрения проблемы оптимизации сводятся к определению абсолютного оптимума для выражения $W = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ при условии, что $h_i = 0, i = 1, 2, \dots, q$ и $g_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, p$.

В данной постановке задачи оптимизации процесса лезвийной обработки в качестве целевой функции используется функция себестоимости. Выбор того или иного технико-экономического решения производится на основе сопоставления приведенных затрат [11]. Применительно к технологической операции приведенные затраты $З_{\text{II}}$ на обработку одной заготовки равны:

$$З_{\text{I}} = C + E_{\text{II}}K,$$

где C – себестоимость обработки одной заготовки, грн.; K – удельные капитальные вложения в производственные фонды, обусловленные выполнением операции, грн.; E_{II} – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений. Переменная часть приведенных затрат $З_{\text{II}}$, связанная с параметрами режима лезвийной обработки, имеет вид:

$$З_{\text{II}} = (\tau_P + \frac{\tau_{CM}}{N})E + \frac{И}{N}, \quad (4)$$

где τ_P – время обработки, с; τ_{CM} – продолжительность простоя станка, связанного со сменой режущего инструмента, с; E – приведенные затраты на эксплуатацию станка (без затрат на режущий инструмент) и зарплату рабочего, грн/с; $И$ – приведенные затраты, обусловленные эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости, включая затраты на переточку и зарплату наладчика, грн; N – число деталей, обработанных за период стойкости инструмента,

$$N = \frac{T}{\tau_P}, \quad \tau_P = \frac{l}{ns} \cdot \frac{B_0}{B} \cdot \frac{Z}{t}, \quad (5)$$

где T период стойкости.

Тогда, с учетом (4) и (5), имеем:

$$З_{\text{II}} = \frac{lB_0Z}{nstB} \left(E + \frac{E\tau_{CM} + И}{T} \right). \quad (6)$$

Для однопроходной обработки формула упрощается и величину T нужно рассматривать как некоторую функцию $T(n, s, t, B, C)$ всех параметров режима резания и константы C , величина которой зависит от условий обработки.

Пренебрегая постоянным множителем $\frac{lB_0Z}{B}$, получаем выражение для критерия оптимальности режима обработки в виде целевой функции W :

$$W = З_{\text{II}} = \frac{1}{nst} \left(E + \frac{E\tau_{CM} + И}{T(n, s, t, B, C)} \right) \Rightarrow \min. \quad (7)$$

Режим, гарантирующий требуемое качество обработки и обеспечивающий минимум целевой функции (7) при разных условиях, будет соответствовать минимальной себестоимости операции.

Уравнениями состояния, в соответствии с рис. 2, являются зависимости для сил резания, уравнения износа и стойкости. В качестве ограничений принимаются ограничения на качество поверхности в виде точности и шероховатости, на деstrukцию, на среднюю температуру в зоне резания и на коэффициент полного внутреннего отражения. Точность линейных размеров можно представить как зависимость от сил и геометрии инструмента. Деstrukцию – в виде зависимости от напряженного состояния поверхностного слоя. Эксплуатационные свойства полимерных материалов представляют сложную функцию свойств самих материалов и характеристик окружающей среды. Один из них – коэффициент полного внутреннего отражения, который в основном зависит от шероховатости.

Для описания ограничений и уравнений состояний используются эмпирические, аналитические, механистические модели механики резания полимеров, которые позволяют создать динамическую (силовую) картину в зоне резания [1, 17].

Решение такого рода задач оптимизации известными методами нелинейного программирования практически невозможно. Поэтому существенные перспективы в решении данной проблемы следует связывать с методами искусственного интеллекта, в частности, с нейронными сетями и генетическими алгоритмами (ГА).

Главные преимущества, которые имеют НС в отличие от нелинейного программирования [13], состоят в том, что они могут легко работать с зашумленными или неполными данными и не требуют явной формулировки проблемы, алгоритма решения и описания математических моделей. В связи с тем, что нейронные сети решают задачу аппроксимации, они способны предсказать реакцию на никогда не предъявляемый им стимул, т.е. осуществить прогнозирование.

Генетические алгоритмы – это адаптивные методы случайного поиска, которые используются для решения задач функциональной и структурной оптимизации [13] и для обучения нейронных сетей. Простота действия и эффективности в задачах многокритериальной оптимизации – два главных достоинства подхода ГА.

Основные отличия генетических алгоритмов от традиционных методов состоят в следующем. 1. Генетические алгоритмы работают с кодами, в которых представлен набор параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции. 2. Для поиска генетический алгоритм использует несколько множеств поискового пространства одновременно (распараллеливание), а не переходит от точки к точке, как это делается в традиционных методах, то есть ГА оперируют со всей совокупностью допустимых решений. 3. Генетический

алгоритм использует как вероятностные правила для порождения новых точек поиска, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим.

Главное неудобство ГА – то, что требуется достаточно большая вычислительная мощность. Самый очевидный недостаток НС и ГА состоит в том, что нет никакой гарантии их результативной работы в приложениях.

Невозможность с помощью уже известных нейронных сетей (см. табл. 2) решить проблему стабильности привело к разработке принципиально новых нейронных сетей адаптивной резонансной теории (АРТ) [18]. Эти сети в определенной мере решают противоречивые задачи чувствительности к новым данным и сохранения полученной прежде информации (стабильности). Поэтому проблемы распознавания конкретных режимов динамических объектов и адаптация системы в процессе эксплуатации могут решаться на основе нейронных сетей АРТ.

Известные дискретные сети АРТ имеют серьезные недостатки, если необходимо запоминать сотни или тысячи реализаций одного и того же динамического режима, поскольку матрицы весов связей размерностью $n \times m$ (n – число S -нейронов входного слоя; m – число распознающих Y -нейронов) сохраняют только по одному изображению, полученному в результате пересечения запомненных динамических процессов. При малых значениях параметра сходства память сети АРТ не имеет необходимого объема информации для принятия обоснованных решений при распознавании, а при больших значениях параметра аналогичные изображения запоминаются как прототипы разных классов изображений с помощью разных Y -нейронов. Это делает практическое использование этих сетей проблематичным из-за слишком большого числа Y -элементов. Однако отдельный Y -элемент может запоминать не только пересечение изображений, но и их объединение. На этой основе разработана новая нейронная сеть, которая позволяет с помощью отдельных Y -нейронов запоминать тысячи однотипных изображений, и имеет возможность обучаться с учителем.

Еще один недостаток дискретных сетей АРТ – наличие только одного поля входных и интерфейсных нейронов – не позволяет применять нейронные сети АРТ для разработки систем распознавания динамических режимов, где необходимо одновременно наблюдать более трех-четырех процессов или где для распознавания нужна разнородная информация о динамическом объекте, который существенно отличается значениями параметра сходства.

В последнее время разработаны непрерывные и непрерывно-дискретные нейронные сети адаптивной резонансной теории, в которых отсутствуют эти недостатки, что открывает возможность разработки систем распознавания с характеристиками, недоступными для сетей АРТ с традиционной архитектурой. Полученные результаты открывают возможности и для разработки новых нейронных сетей адаптивной резонансной теории.

Выводы. Разработана структурная схема оптимального технологического процесса лезвийной обработки изделий из оптических полимеров и поставлена задача прогнозирования оптимального процесса лезвийной обработки полимерных материалов. Обоснована и разработана концепция применения сочетания нейронных сетей адаптивной резонансной теории, иерархических сетей и генетических алгоритмов для решения задачи параметрической оптимизации технологических процессов лезвийной обработки оптических полимеров. Сочетание нейронных сетей адаптивной резонансной теории, иерархических сетей и генетических алгоритмов представляется эффективным и перспективным инструментом решения поставленной задачи прогнозирования оптимального процесса лезвийной обработки полимерных материалов, и применение данного подхода будет рассмотрено в дальнейших публикациях.

Список литературы: 1. Рабочие процессы высоких технологий в машиностроении / Под ред. А.И. Грабченко. – Харьков, 1999. – С. 195 – 197. 2. *Benardos P.O., Vosniakos G.-C.* Predicting surface roughness in machining: a review // *International Journal of machine Tools and Manufacture*. – 2003. – № 43. – Р. 833 – 844. 3. *Рыжов Э.В., Аверченко В.И.* Оптимизация технологических процессов механической обработки. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с. 4. *Якобс Г.Ю., Якоб С., Кохан Д.* Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с. 5. *Люгер Д. Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 864 с. 6. *Вереzub Н.В., Хавина И.П., Чернышев А.А.* Применение методов искусственного интеллекта для выбора структуры технологического процесса лезвийной обработки // *Вестник Национального технического университета “ХПИ”*. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2005. – № 24. – С. 155 – 162. 7. *Корытин А.М., Шапарев Н.К.* Оптимизация управления металлорежущими станками. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с. 8. *Игумнов Б.Н.* Расчет оптимальных режимов обработки для станков автоматических линий. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с. 9. *Рубашкин И.Б.* Оптимизация металлообработки при прямом цифровом управлении станками. – Л.: Машиностроение, 1980. – 144 с. 10. *Сикора Е.* Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 226 с. 11. *Тверской М.М.* Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с. 12. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 240 с. 13. *Назаров А.В., Лоскутов А.И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и техника, 2003. – 384 с. 14. *Chien W.T., Chou C.Y.* The predictive model for machinability of 304 stainless steel // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2001. – № 118. – Р. 442 – 447. 15. *Suresh P.V.S., Venkateswara P., Deshmukh S.G.* A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2002. – № 42. – Р. 675 – 680. 16. *Li X.P., Lynkaran K., Nee A.Y.C.* A hybrid machining simulator based on predictive theory and neural network modeling // *Journal of Materials Processing Technology*. – 1999. – № 89 – 90. – Р. 224 – 230. 17. *Smith A.J.R., Fedorov A., Verezub N.V.* Mechanics of orthogonal cutting of optical polymeric materials // *Резание и инструмент в технологических системах*. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 66. – С. 124 – 132. 18. *Дмитриенко В.Д., Распас Р.Д.* Применение нейронных сетей для обработки измерительной информации. Учебное пособие. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 114 с.

Поступила в редакцию 19.07.2005